

- **self-assembled (self-organized)**
samoorganizujące się (samorosnące) kropki kwantowe

Podstawowe mody wzrostu heterowarstw epitaksjalnych

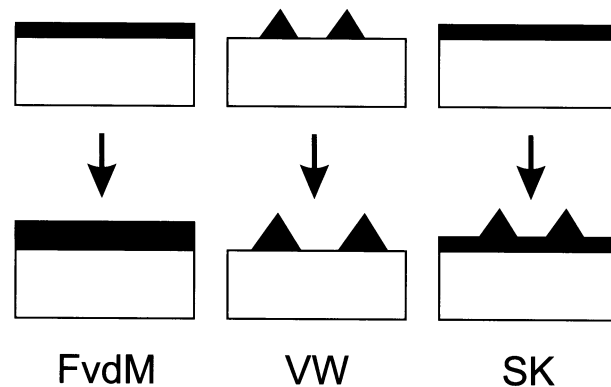
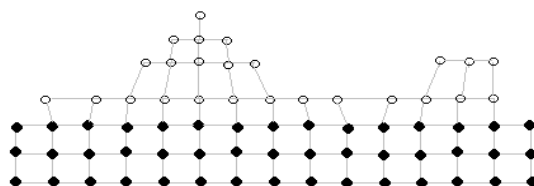


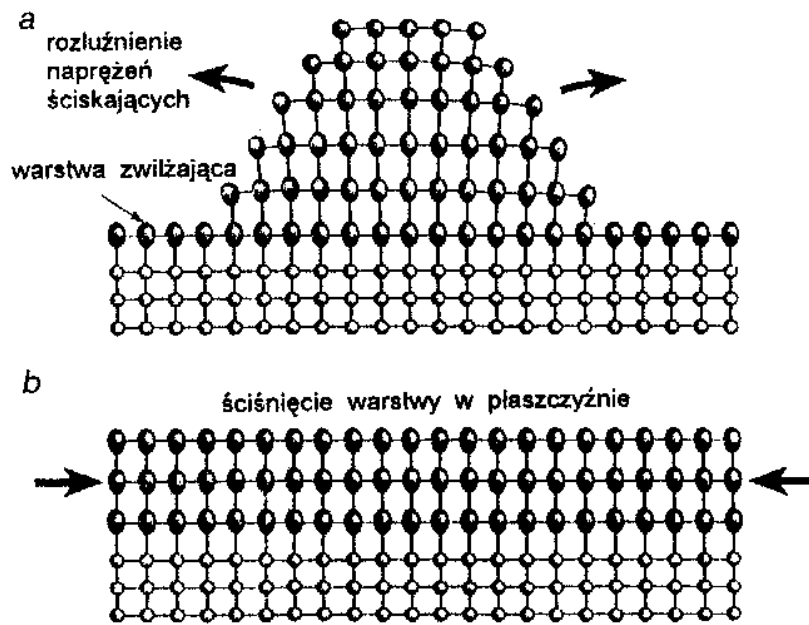
Fig. 3.9 Schematic diagrams of the three possible growth modes: Frank–van der Merwe (FvdM), Volmer–Weber (VW), and Stranski–Krastanow (SK)

(wyspy nie muszą być piramidalne; soczewkowate, o kształcie kopuł, piramidy ścięte, płaskie trapezoidalne dyski, ...)

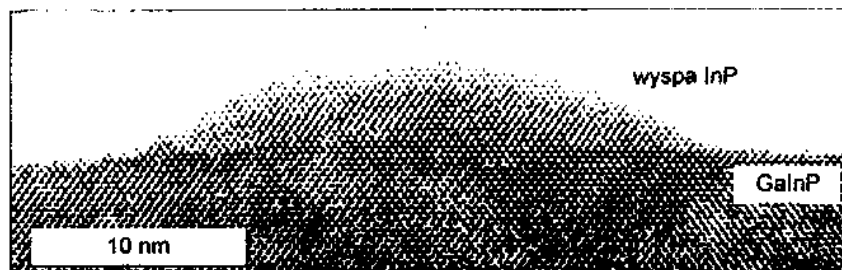
- zasada tworzenia samorosnących kropek kwantowych:
- warstwy o dużej różnicy stałych sieciowych ~5%**
 - krótkotrwała epitaksja**



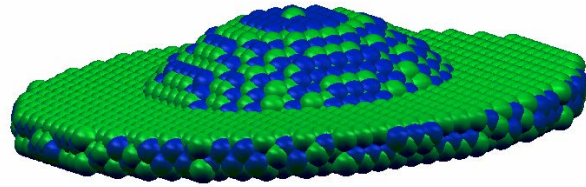
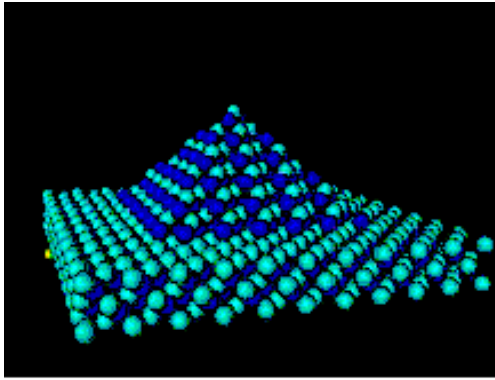
metoda: Stranskiego-Krastanova



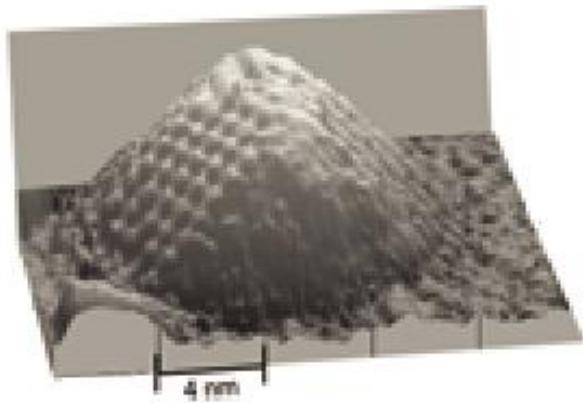
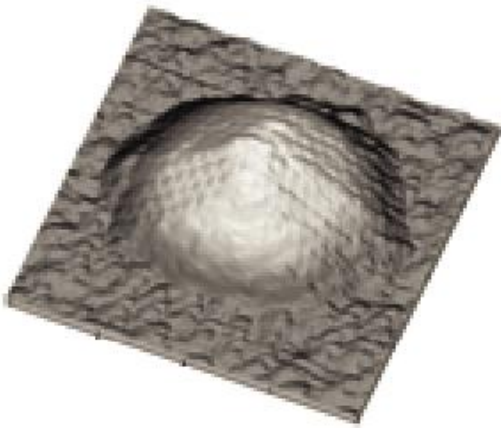
Rys. 2. (a) Tworzenie się klastera w trakcie epitaksjalnego wzrostu materiału półprzewodnikowego na powierzchni innego półprzewodnika o mniejszej (o kilka procent) stałej sieci. Na przykład, fosforek indu ma stałą sieci o 4% większą od stałej sieci fosforu indowo-galowego, w wyniku czego InP tworzy klaster, tak jak pokazany na rys. 3. Powstawanie klasterów jest uprzywilejowane energetycznie, ponieważ sieć krystaliczna może w ten sposób rozluźnić naprężenia ściskające i tym samym zmniejszyć zmagazynowaną energię odkształceń. (b) W innym rodzaju wzrostu warstwa epitaksjalna jest ściskana w płaszczyźnie i dopasowuje się do stałej sieci podłoża. Jest to tak zwany „wzrost pseudomorficzny”, obserwowany w przypadku heterostruktur o małym niedopasowaniu sieciowym.



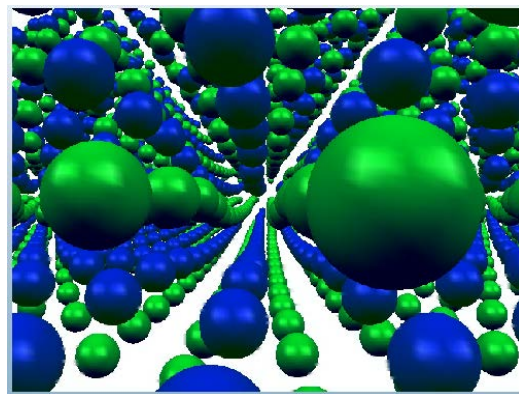
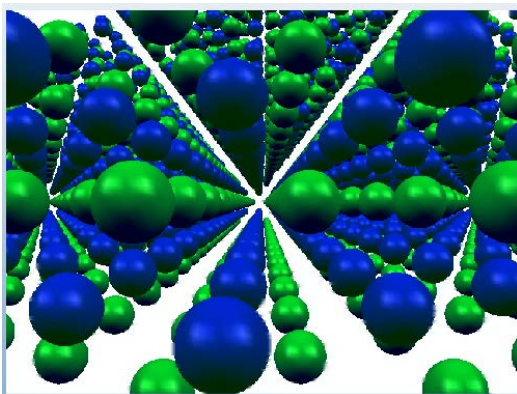
Rys. 3. Obraz klastera z InP na GaInP otrzymany za pomocą transmisyjnego mikroskopu elektronowego. Klaster powstał w trakcie wzrostu epitaksjalnego trzech (nominalnie) warstw atomowych InP. Ponieważ wyspy tego rodzaju są bardzo małe i pojawiają się samorzutnie w trakcie wzrostu, noszą nazwę samoorganizujących się kropek kwantowych.



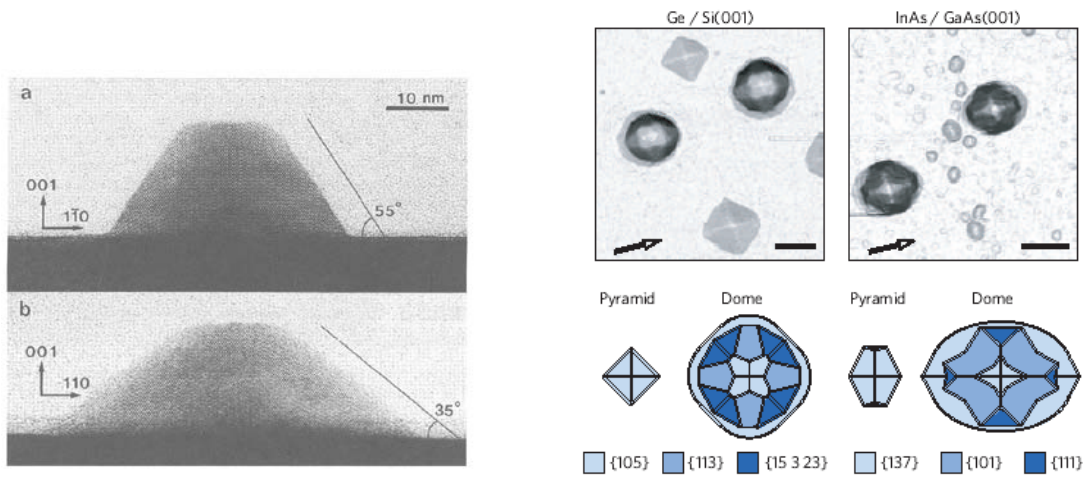
model piramidalnej i soczewkowej QD InAs na warstwie zwilżającej (dr. Michał Zieliński)



QD InAs



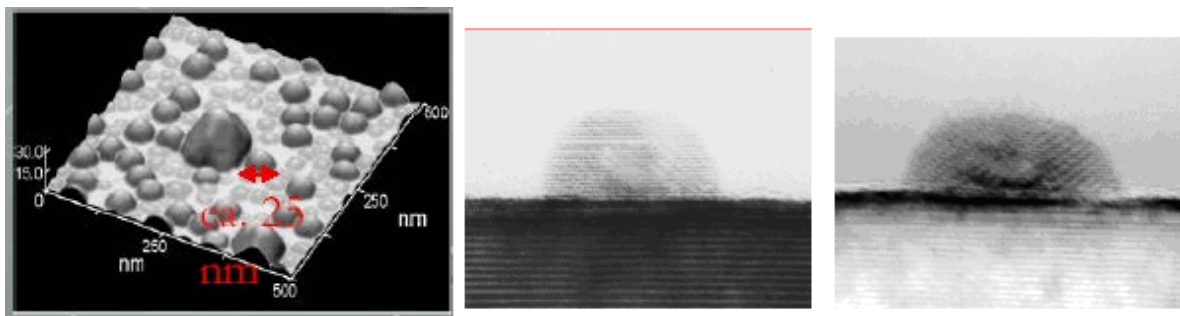
kształty „kopułowate”



obraz samorosnacej kropki kwantowej

InGaAs/GaAs

Germanowe (G) QD na powierzchni krzemu (bez WL)



GaN / AIGaN

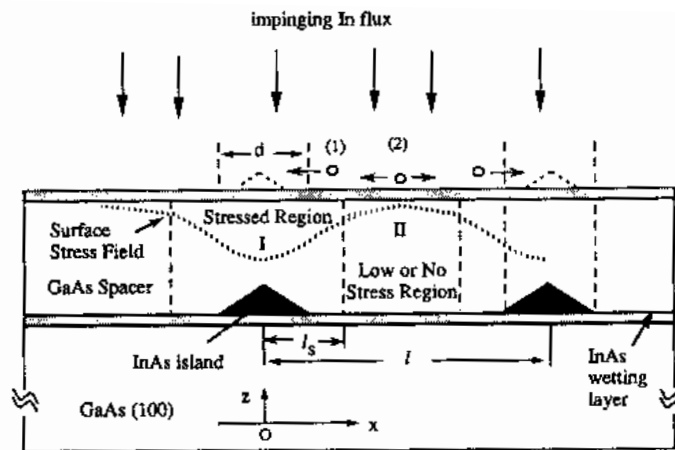


FIG. 4. A schematic representation showing the two major processes for the In adatom migration on the stressed surface: (1) directional diffusion under mechanochemical potential gradient contributing towards vertical self-organization and (2) largely symmetric thermal migration in regions from the islands contributing to initiation of new islands not vertically aligned with islands below.

Inne przykłady obrazów STM

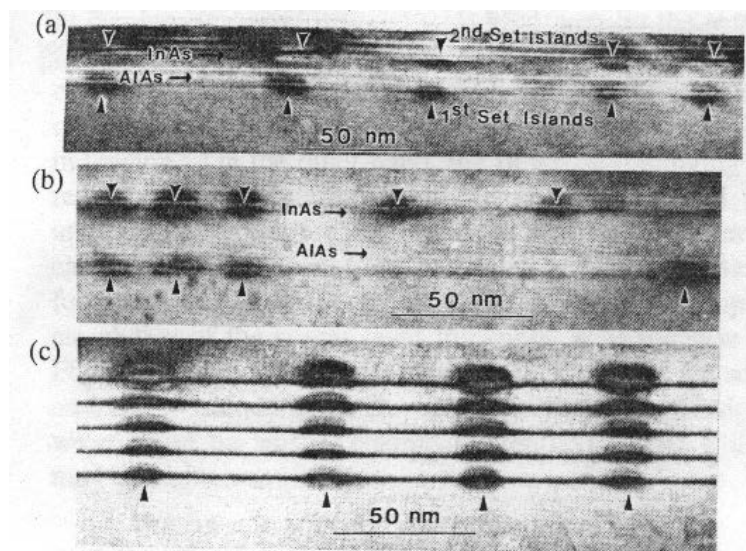
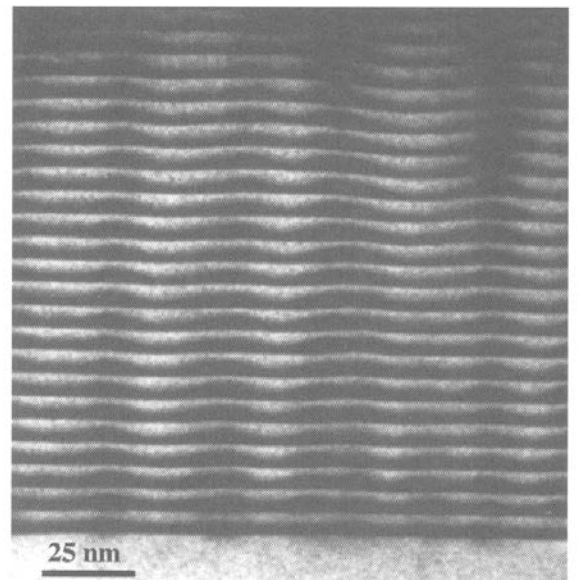
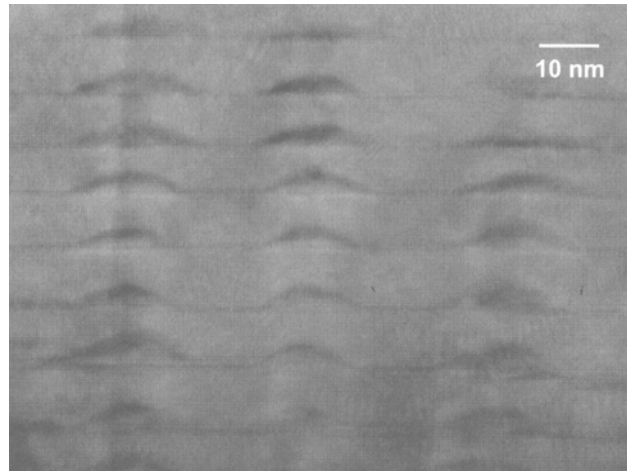
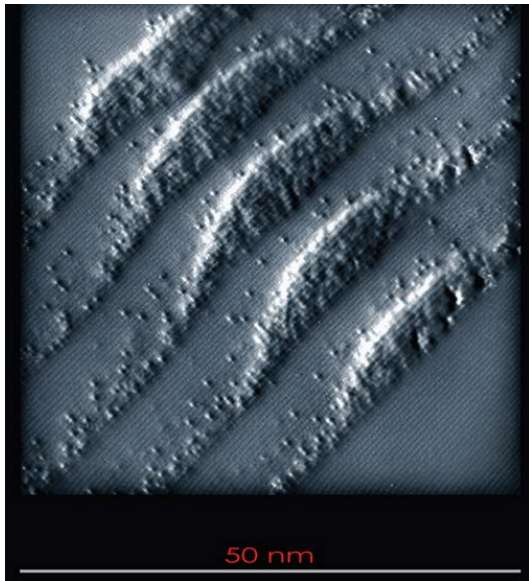


FIG. 1. Typical $g = (400)$ bright field TEM pictures taken along $[011]$ azimuth for the samples with two sets of islands separated by (a) 46 and (b) 92 ML spacer layers, respectively. Arrows point to the island positions indicated by the strain contrast. (c) A typical $g = (200)$ dark field TEM picture for a sample with five sets of islands separated by 36 ML spacer layers. Note the vertical collinearity of the islands in five sets.





typowe kształty: piramidy, soczewki, półsfery

typowe rozmiary:

- wysokość - 2-10 nm
- szer. podst. - 10-30 nm

zalety:

- dobra powtarzalność
- małe rozmiary
- łatwość tworzenia sieci 2D i 3D (automatyczna)

wady:

- słabe możliwości zmian kształtów i rozmiarów

Przykłady widoków z góry (STM) J. Appl. Phys. 97, 073507, 2005

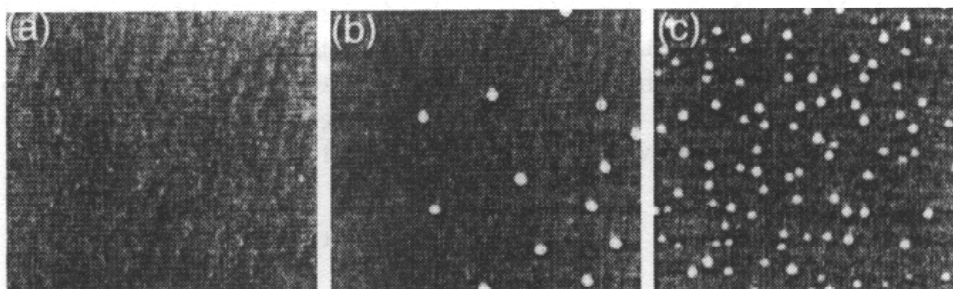
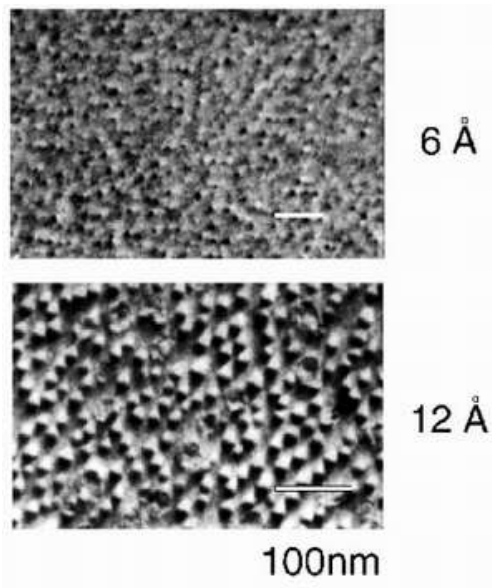
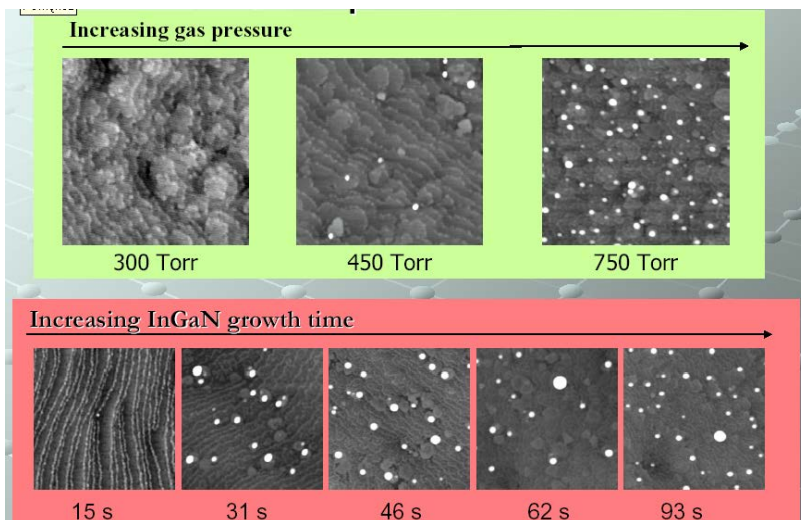


Fig. 2.10a–c. Evolution of islets – self-assembled quantum dots (*white circles*), in the molecular beam epitaxy (MBE) growth of InAs on GaAs surface. Subsequent pictures correspond to the increasing coverage of 1.6, 1.7, and 1.8 monolayer; size of presented areas is $1 \times 1 \mu\text{m}^2$ [110]

InAs na GaAs



InGaN



regulowanie dystrybucji kropek na powierzchni substratu

ostatnie kilka lat:

- techniki uzyskiwania regularnych sieci 2D na odpowiednio przygotowanym podłożu;
- "sztuczne molekuły" (w płaszczyźnie)

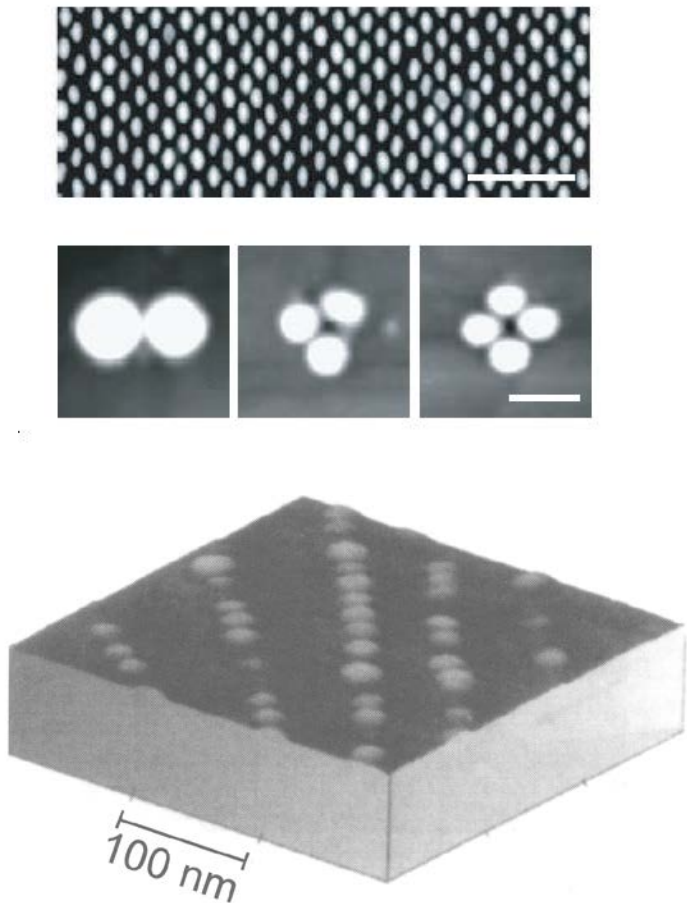
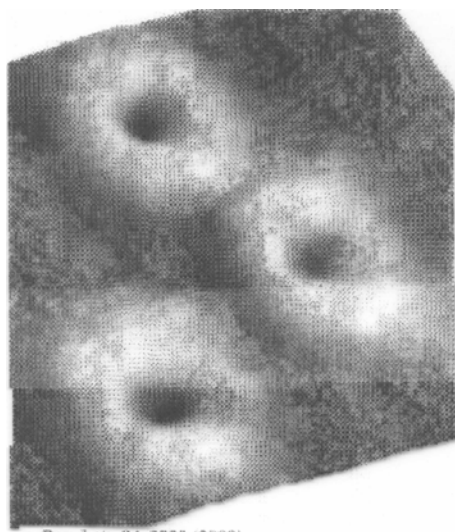


Fig. 4.28 AFM image (300 nm \times 300 nm) of InGaAs quantum dots aligned at multiatomic steps on GaAs (001) surface misoriented by 2° toward [010]. (Reproduced by permission of American Institute of Physics from Kitamura *et al.*, 1995)

Tworzenie „pierścieni kwantowych” w procesie wygrzewania samorosnących QD

InP na GaAs (od roku 2000)



Kropki kwantowe „strukturalne” w drucie kwantowym VLS

VLS - QD

